

estudio

sobre un bordillo encauzador para carretera

SANDRO ROCCI, ingeniero de caminos
PETER HOLENWEG, dipl. Bauing. ETH

1. Origen del problema

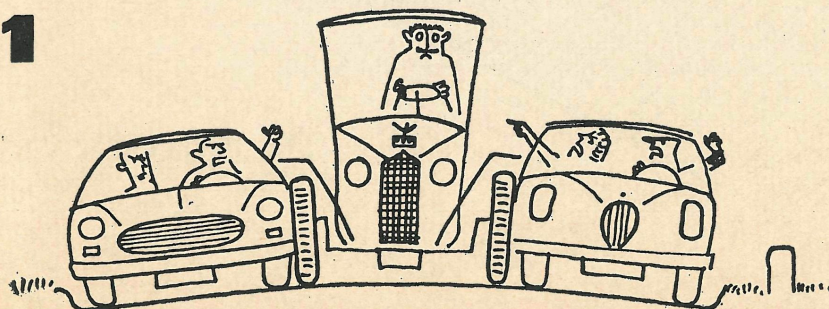
La utilidad de un bordillo prefabricado resulta bien evidente. Puede cumplir las funciones de: limitador lateral del firme, fácil reposición, evitar el deterioro de los márgenes, y, convenientemente dispuesto, constituir un eficaz balizamiento nocturno de la carretera. Puede, además, utilizarse como encofrado para construir la banda exterior del firme.

Modernamente, se han hecho algunos intentos de combinar esta función con la de "encauzador de tráfico", disponiendo en su superficie determinados resaltos, que, si bien no constituyen un peligro para la circulación rodada, sí constituyen una molestia, de suerte que el conductor tiende a evitar el circular por encima del "encauzador de tráfico". Así, pues, los encauzadores de tráfico son unos elementos que permiten un tránsito ocasional molesto, aunque no peligroso. Se destaca inmediatamente su localización en los bordes del firme, protección de islotes y encauzamientos, cambios de dirección en autopistas, etc.

Por último, dentro de la investigación sobre aplicaciones del cemento en carreteras, realizada en el curso 1960-61 en el I. E. T. C. C., se ha pensado en la posible localización del bordillo encauzador como separador de vías de circulación.

En efecto, es conocida de todos los conductores la molestia y peligro que representa para los demás el vehículo que circula "a caballo" entre dos vías de circulación, sin permitir su adelanto por la izquierda

1



reglamentaria, y a veces ni por la derecha antirreglamentaria (fig. 1). Según lo que se pretende en este estudio, el bordillo-encauzador vendría a situarse debajo del centro del vehículo cuando éste rueda por su vía, y debajo de sus ruedas cuando circule "entre dos vías".

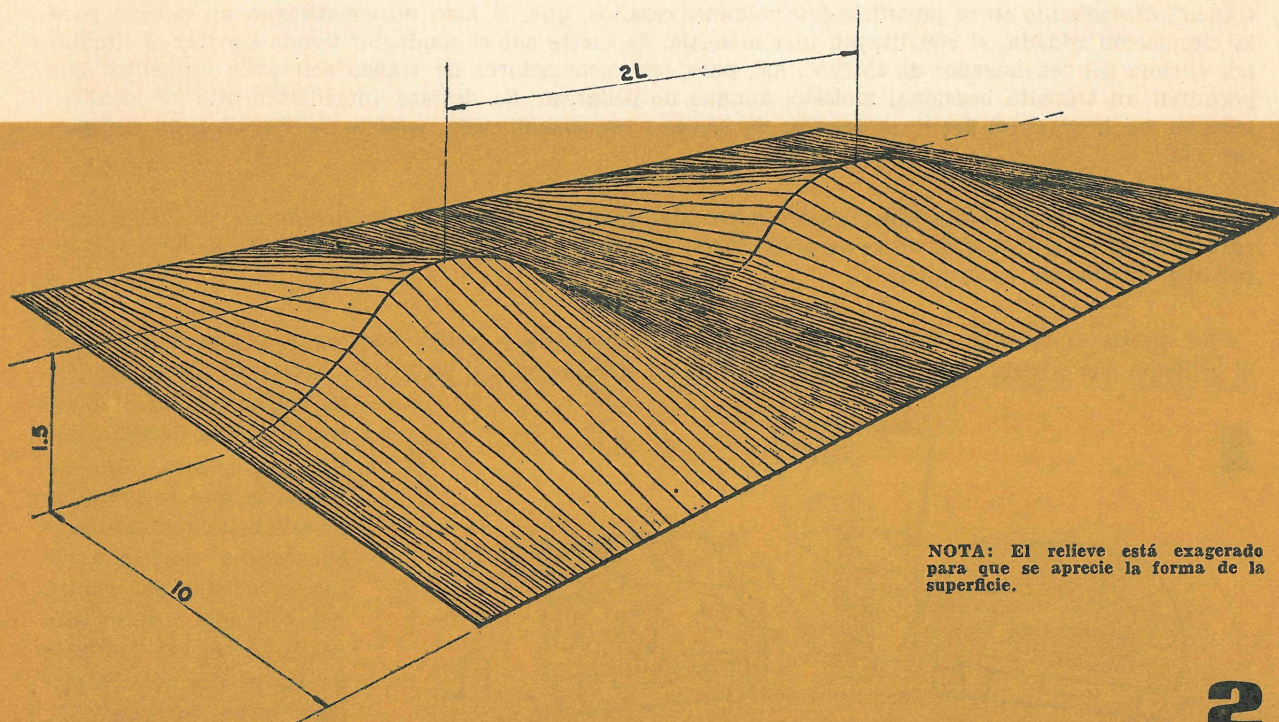
Constituye, pues, un intermedio entre la circulación actual, totalmente dirigida por el hombre, y una posibilidad de circulación en el futuro, en que el vehículo se situaría automáticamente *encima* de un cable enterrado en el firme, emisor de determinadas radiaciones. Con el bordillo encauzador, el propio conductor tenderá a situarse automáticamente en la posición correcta (con cierto margen de tolerancia, que se fijará oportunamente) y volverá a ella lo antes posible cuando le abandone por cualquier motivo, por ejemplo, para adelantar a otro vehículo. La maniobra de adelanto resulta, pues, posible, aunque momentáneamente molesta, con lo cual ganará rapidez.

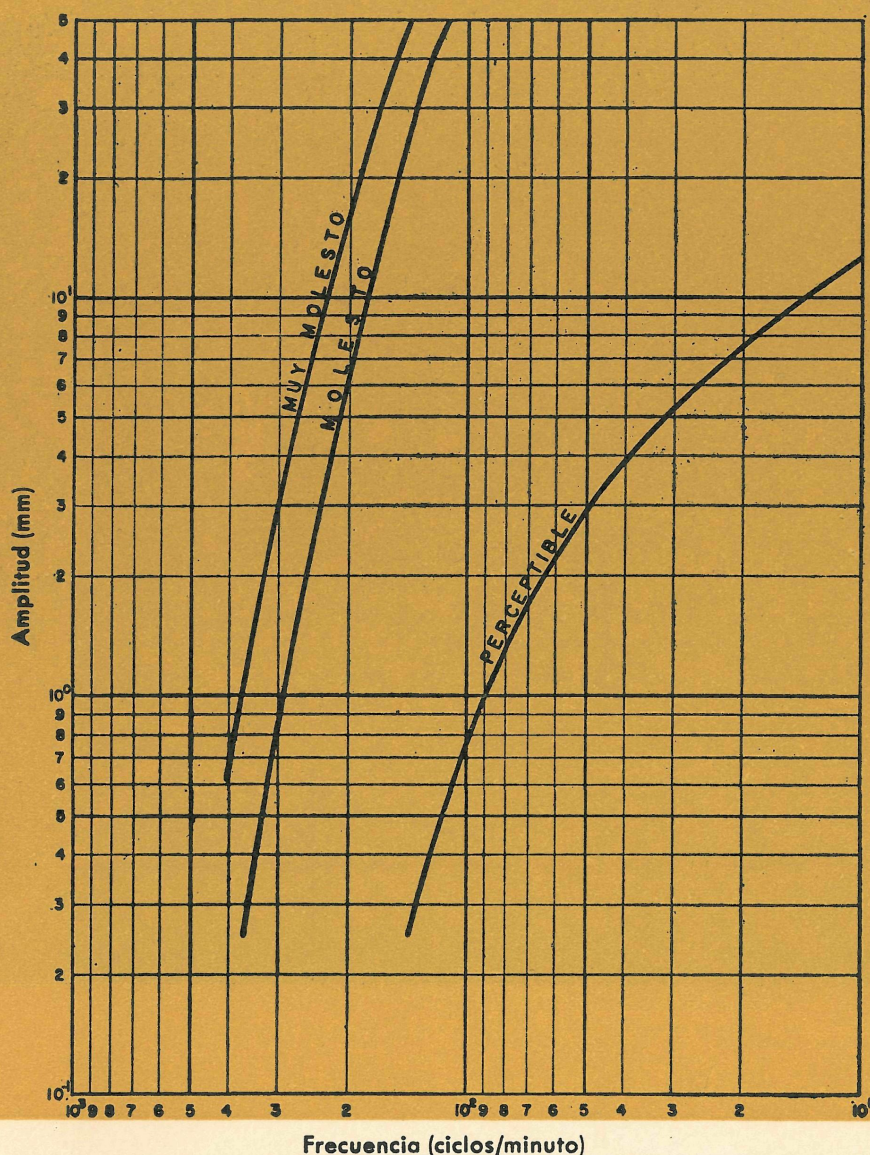
2. Consideraciones dinámicas

La irregularidad que presenta el encauzador debe ser de transición suave al resto del firme, para no constituir un peligro en climas lluviosos; asimismo debe permitir el paso del agua a su través, con objeto de no perturbar la evacuación de las aguas pluviales recogidas por la superficie del firme.

Ambas consideraciones nos llevaron a elegir una irregularidad en forma de conoide reglado de directriz senoidal (fig. 2). Entonces, esta senoide queda definida por su semiamplitud a y por su semilongitud de onda L .

La primera de estas dos magnitudes se fija inmediatamente, basándose en las consideraciones siguientes: a igualdad de L , cuanto mayor sea a , más eficaz será el encauzador, sin aumentar la dimensión de la pieza prefabricada. Por tanto, a será lo mayor posible.





Por otra parte, la consideración de la seguridad durante el paso de una rueda a través del encauzador, obliga a que la pendiente transversal máxima no sea mayor de una dada, que hemos fijado "a priori" en el 15 %. Teniendo en cuenta que la dimensión transversal del encauzador se ha fijado en 20 cm (valor muy lógico en la pieza prefabricada, según se verá después), resulta como altura máxima de la onda senoidal:

$$2a = 1,5 \text{ cm.}$$

Queda, por lo tanto, a determinar la otra característica de la senoide, en base a consideraciones dinámicas.

El encauzador debería imprimir a los ocupantes del vehículo una aceleración desagradable (fig. 3), que es función de la frecuencia (o sea, de la velocidad del vehículo), y de la suspensión de que esté dotado el vehículo.

Hemos fijado para este estudio los datos siguientes, recogidos de varias procedencias, y que creemos representan un caso común en nuestro país:

Vehículo de 4 ruedas, peso suspendido: 1.000 kg, repartidos por igual en las 4 ruedas.

Deformabilidad de los muelles de suspensión de las ruedas: 40 kg/cm.

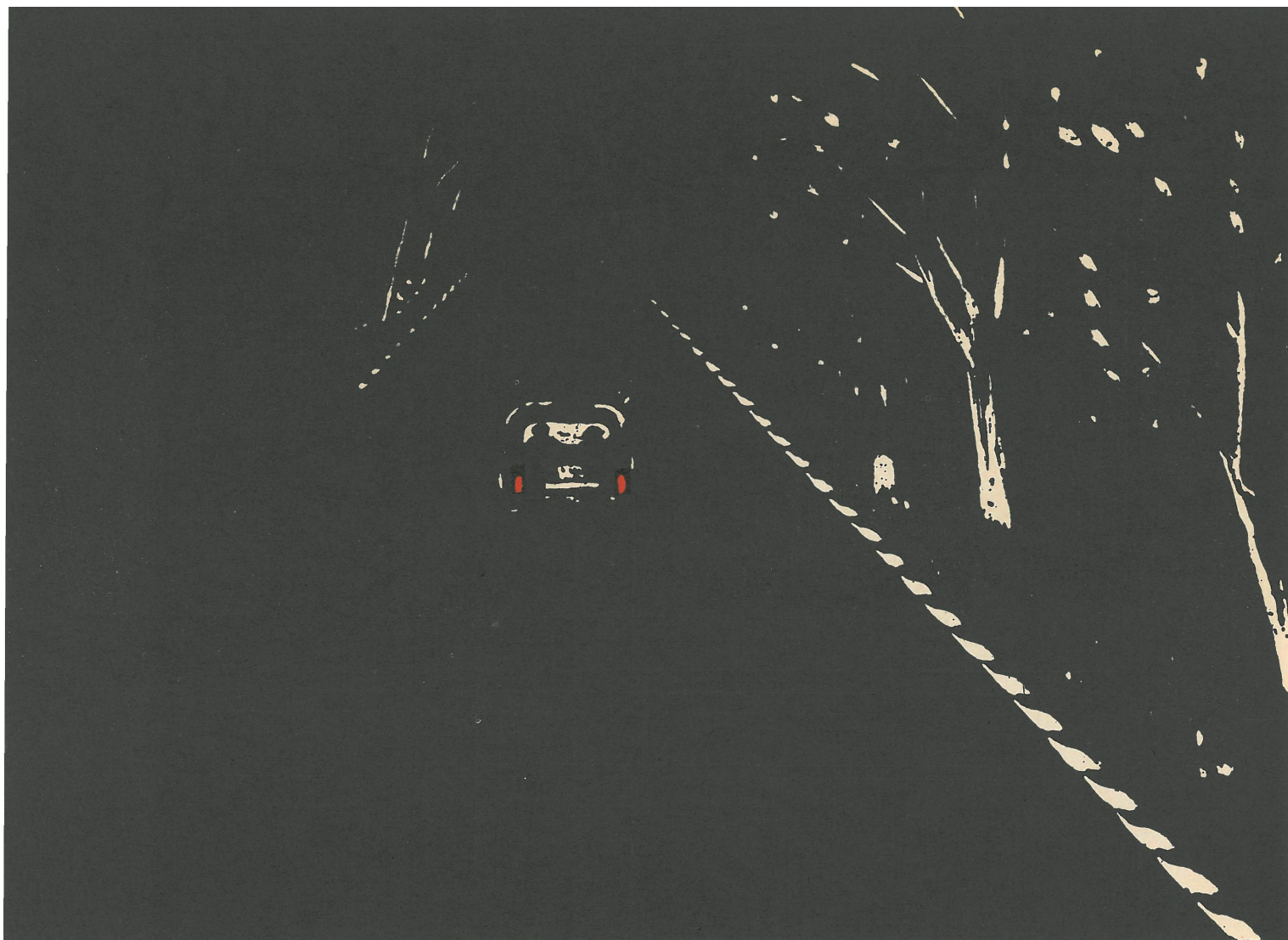
Amortiguamiento: 1,9 kg × s/cm.

Velocidad: 40 km/h (el encauzador se dirige, sobre todo, contra el vehículo lento).

Estos datos iniciales se traducen en los siguientes:

Frecuencia natural del sistema no amortiguado: 0,4 c/s.

Amortiguamiento relativo: 0,3.



4

Y, realizados los cálculos pertinentes, se halló que para $2a = 1,5$ cm, la aceleración era molesta para $L = 2,75$ m, lo cual resultaba evidentemente en un tamaño excesivo de las piezas.

Este resultado, junto con la complejidad teórica del problema (v. anejo a este Estudio, y nuestro artículo en preparación "Efecto de las irregularidades superficiales en la rodadura de vehículos"), nos aconsejaron el abordar el problema bajo otro punto de vista.

En efecto, las perfeccionadas suspensiones de los vehículos modernos hacen que el ocupante del mismo no perciba físicamente las vibraciones desagradables producidas por el encauzador, aislado como está por neumáticos, ballestas, muelles, amortiguadores, tapicería del asiento, etc. Pero ello no es obstáculo para que el conductor sí perciba al encauzador, por la vibración desagradable de las ruedas, acompañada de un ruido más o menos intenso. Por consiguiente, aunque la aceleración imprimida al ocupante del vehículo sea despreciable, la rodadura resulta intolerable para valores de L mucho más bajos, que es, en definitiva, lo que se pretende: un encauzador eficaz y de dimensiones no excesivas, fijadas "a priori".

Con este criterio, hemos fijado $L = 60$ centímetros.

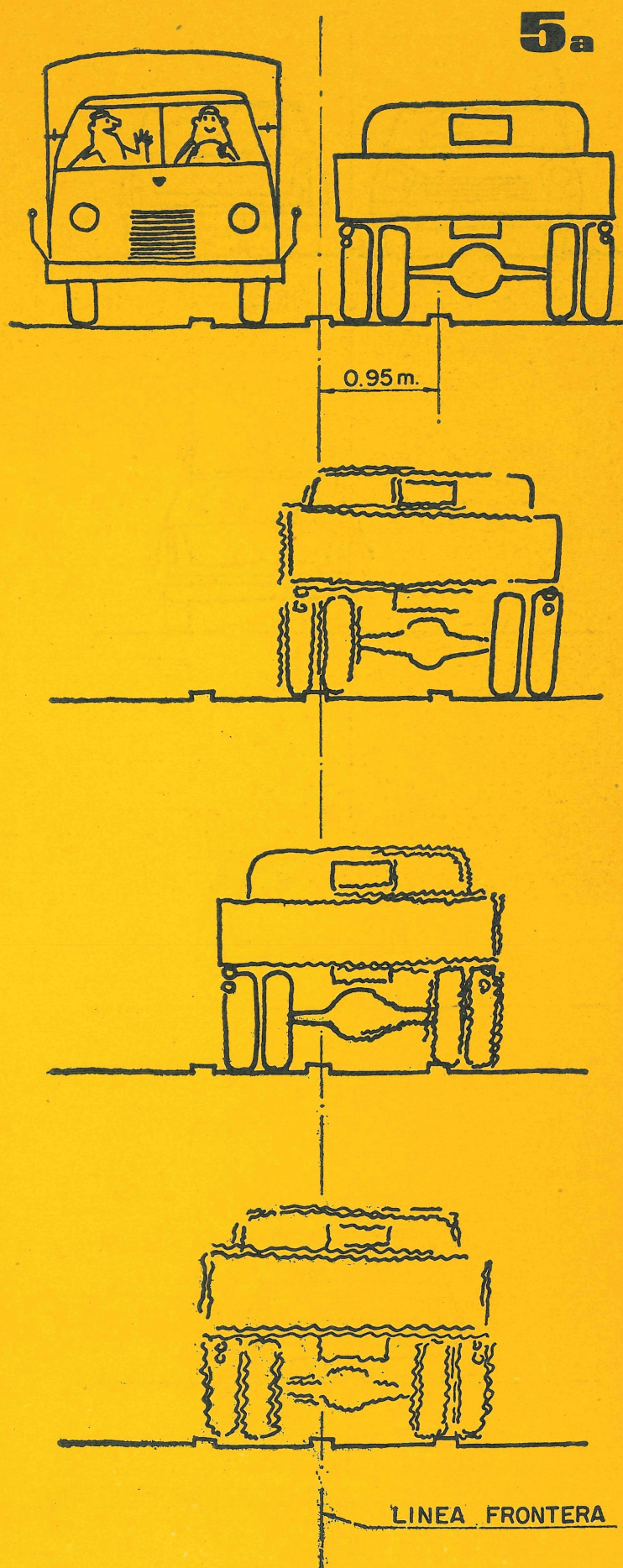


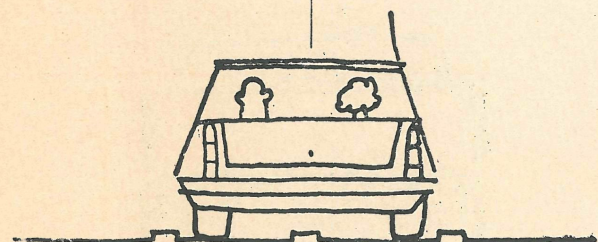
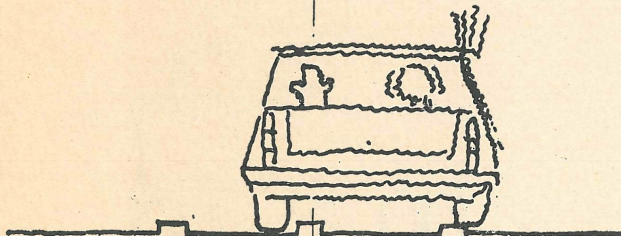
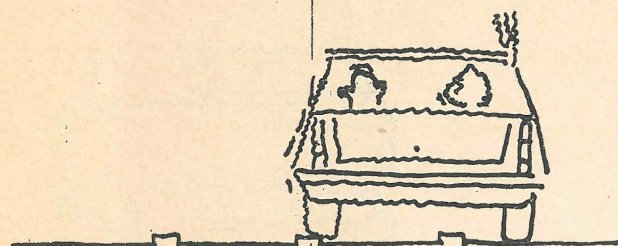
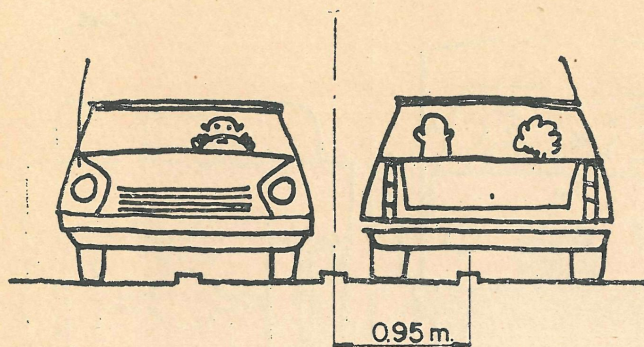
3. Localización en la sección transversal del firme

Aparte de la localización marginal, conveniente, además, desde el punto de vista del balizamiento nocturno (figura 4), queda la incógnita de la localización conveniente entre una vía de circulación y la adyacente. A primera vista, una posición centrada en cada vía de circulación podría parecer favorable; pero inmediatamente se descubre que, so pena de hacer un encauzador muy ancho, es posible la circulación *entre* los dos encauzadores de tráfico.

Entonces se hizo necesario el estudio de la colocación de una serie de encauzadores, respecto de una "línea de frontera" entre dos vías de circulación, de sentidos iguales u opuestos. Para ello se tomaron como base tres vehículos-tipo.

	Distancia entre bordes de ruedas	
	Interiores m	Exteriores m
Camión	2,25	1,25
Turismo grande. ...	1,65	1,25
Turismo pequeño ...	1,25	0,85

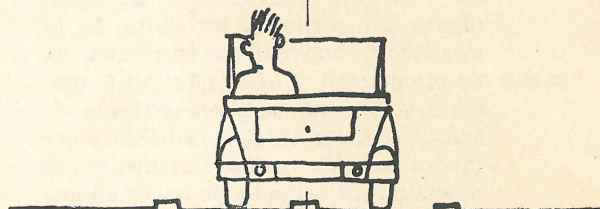
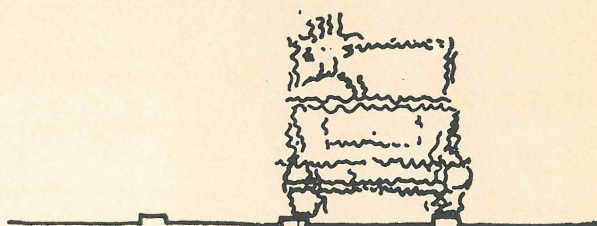
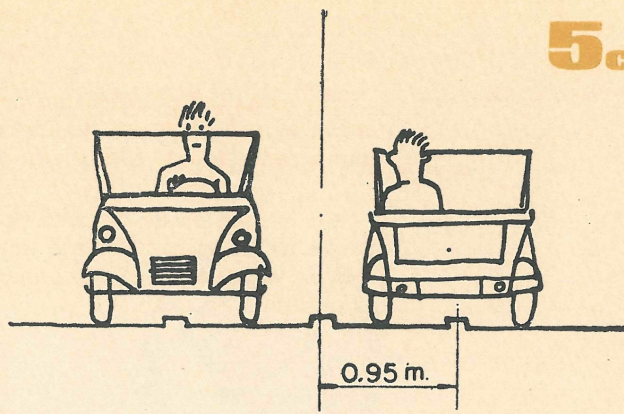




5_b

LINEA FRONTERA

5_c



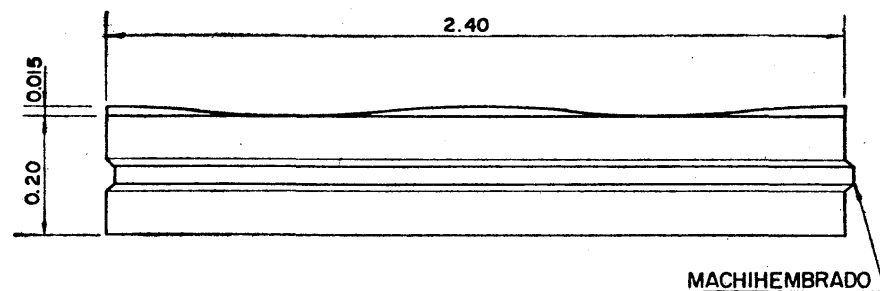
LINEA FRONTERA

Las medidas fueron recogidas de los datos publicados en los números 125-126 de INFORMES-Datos de proyecto, unificándolos, en lo posible, al ancho de 1,25 m, submúltiplo de los anchos de vía internacionales.

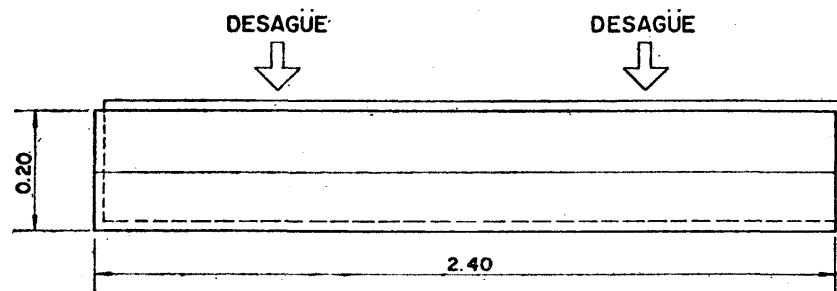
Un estudio topológico del problema muestra que la solución consiste en disponer *tres* encauzadores de 20 cm de ancho: uno, centrado en la "línea de frontera", y los otros dos, uno a cada lado de ella, a una distancia entre ejes de 0,95 m (fig. 5).

En el caso de un turismo pequeño, se puede apreciar en dicha figura que el vehículo puede ir "centrado" sobre la línea-frontera. Esto no reviste excesiva importancia, pues el tamaño de dicho coche es reducido y no estorba demasiado: el adelanto *por ambos lados* es posible.

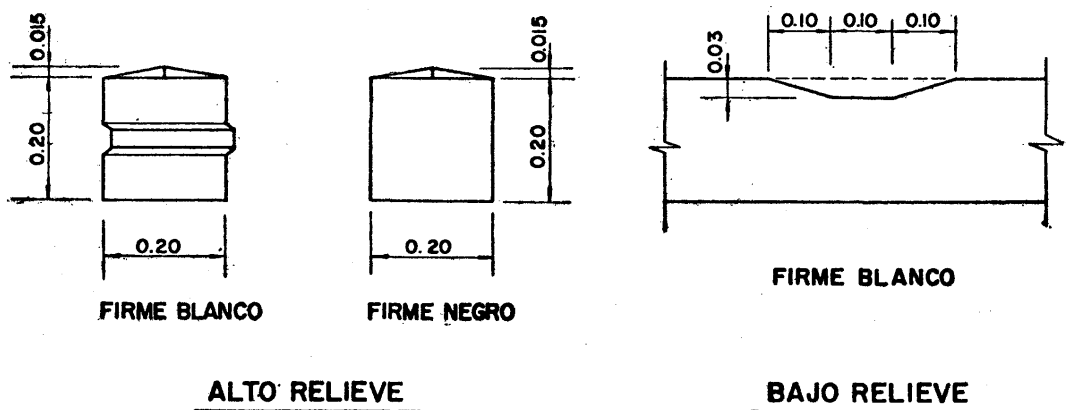
alzado lateral



planta



alzado frontal



4. Propuesta

En base a las consideraciones anteriores, se puede proponer lo que creemos un primer modelo de encauzador adecuado al fin que se persigue, para que, sometido a experimentación, se corrijan o afinen sus características de acuerdo con los resultados de la misma.

En cuanto a la materialidad de su ejecución, conviene distinguir dos casos: firmes blancos o firmes negros.

Es el caso de un firme negro, el encauzador reviste la forma de una pieza prefabricada de $2,40 \times 0,20 \times 0,20$ m y unos 250 kg de peso (fig. 6). En los extremos de la pieza se deberá disponer un dispositivo de transferencia de cargas a la pieza contigua, seguramente un machihembrado cuya forma más adecuada decidirá la experimentación. El firme negro se dispone alrededor del encauzador, lográndose un buen efecto de contraste y balizamiento.

En el caso de un firme blanco, el encauzador puede utilizarse igualmente como en el caso anterior, bajo forma de pieza prefabricada; desde luego, la pieza que coincide con la "línea frontera" puede utilizarse como encofrado, y vía de rodadura de la maquinaria que constituye al firme, sin más que disponer en dicha maquinaria unas ruedas con perfil sinusoidal adecuado. Pero surge el inconveniente de la ejecución del resto del firme, especialmente del tramo comprendido entre los encauzadores, cuyo ancho es de unos 75 centímetros.

En tal caso, se puede hacer uso de la ventaja que supone el material hormigón, al ser moldeable; y en vez de que el encauzador de tráfico sea una pieza aislada, se moldeará el propio encauzador en la superficie del firme fresco. El resalto puede ir, por así decirlo, en alto-relieve (igual que el de la pieza prefabricada) o en bajo-relieve. Este último es el que creemos aconsejable debido a su más fácil ejecución, por medio de una especie de troquel que se aplicaría a la superficie del hormigón fresco: este troquel puede revestir forma de regla o de rueda, y sería muy interesante experimentarlo.

Dos advertencias para el caso de encauzador en bajo-relieve: Primeramente, y debido al ancho de las ruedas, el encauzador debe tener una sección transversal trapezoidal en vez de triangular (fig. 7), con mayor profundidad y anchura. Por último, la impermeabilidad del bajo-relieve es perfecta en el caso de encauzadores laterales; en el caso del encauzador situado en la "línea frontera" hay que asegurar la estanqueidad de la junta, en cuyo caso es mejor adoptar el sistema de pieza prefabricada, en alto-relieve, para evitar acumulaciones de agua en las inmediaciones de la junta; además, así se puede utilizar como encofrado.

